



[0008] この他、従来の表示装置において観察视野を広げるためににはホログラムコンバイナを大きくしなければならず、それに伴いホログラムコンバイナから発生する収差が増大するという問題点があった。

[0009] これに対してホログラムコンバイナの増大を防止しつつ観察视野の拡大を図ったヘッドアップディスプレイ装置(表示装置)が例えは米国特許第3,807,829号や米国特許第3,915,548号等で提案されている。

[0010] そこではコンバイナとして同一寸法の寸法の要素ホログラムより成るホログラムアレイを off-axis(軸外)配置して用いる。

[0011] しかしながらこの表示装置では観察者の眼に入射する各光路間でN.A.(開口数)が異なってきて明るさが不均一となるという問題点があった。

[0012] 因ち、輻射光束のホログラムへの入射角をθ in、輻射光束の画角をφ、観察者の瞳径をaとする

と入射光束のホログラム面上での寸法Hは、

$$H = a / \cos(\theta in + \varphi)$$

で表される。

[0013] このうち、+方向の輻射光束が入射するホログラム寸法は画角の倍と共に大きくなってくる。この結果、一般のヘッドアップディスプレイ装置やヘルメットマウントディスプレイ装置(以下HMD装置)にこのよう分離したホログラムレンズアレイ(コンバイナ)を用いるとCRT等の画像表示器上の各点から発する各光束の立体角が異なってくるためにコンバイナ(ホログラムレンズアレイの別機能)を介して屈折された画像は各要素ホログラムの寸法に対応して明るさが不均一になると問題点が現れた。

[0014] この他、従来のHMD装置ではプリズムシステムを経てホログラムコンバイナ(ホログラムレンズアレイの別機能)を介して屈折された画像は各要素ホログラムの寸法に対応して明るさが不均一になると問題点が現れた。

[0015] 例えは観察者の瞳位置(人眼)近傍にホログラム配線光束の発光部を置き、射出端近傍に收束するあと1つの配線光束とを干渉させたホログラムコンバイナでは結像面上の非同心度は約1.3mm、画角±2.0°では約5~15mm程度ある。この為、画像情報を良好に観察するのが大変難しいという問題点があつた。

[0016] 本発明はホログラムレンズアレイの構成を通じて屈折することにより、画像表示器からの画像情報をと他の画像情報を空間的に重畠させて広い観察视野と他の明るさで観察することができる off-axis 型のホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置の提供を目的とする。

[0017] 例えはホログラムコンバイナを介して画像表示器からの画像情報を他の画像情報を空間的に重畠して同一視野で観察する際、画像表示器とホロ

ログラムコンバイナとの間の光路中にプリズムを設けることにより、コマ収差や非同心度を良好に補正し、良好な観察情報の観察が可能なホログラム及びそれを用いた表示装置の提供を目的とする。

[0018]

【課題を解決するための手段】本発明のホログラムレンズは off-axis 型のホログラムレンズにおいて、スライスによって各要素ホログラムサイズが独立され

ており、かつ、各要素ホログラムのN.A.が等しくなるように各要素ホログラムサイズが分割されていることを特徴としている。

[0019] 特に前記ホログラムレンズが体積相型ホ

ログラムであることを特徴としている。

[0020] 本発明のホログラムレンズを用いた表示裝

置としては、

(1-1) 画像表示器からの画像情報を基づく光束を

N.A.が等しい寸法の要素ホログラムから成る off-

axis 型のホログラムレンズを介し、回折させて、該画

像情報を該ホログラムレンズの背後の画像情報を空間的に屈折させて同一視野で観察する際、該画像表示器と情報を空間的に重畠させて同一視野で観察するように

したことを特徴としている。

[0021] (1-2) 画像表示器からの画像情報を基づく光束をホログラムレンズを介して回折させて、該画

像情報を該ホログラムレンズの背後の画像情報を空間的に屈折させて同一視野で観察する際、該画像表示器と該ホログラムレンズとの間の光路中にプリズムを設けたことを特徴としている。

[0022] 特に前記画像表示器と前記ホログラムレンズとの間の光路中にリーレンズを設けたこと、前記画像表示器と前記プリズムとの間の光路中にリーレンズを設けたこと、前記プリズムは前記ホログラムレンズの非同心度を補正するように屈折していること、前記ホ

ログラムレンズはコマ収差を補正する効果を用いて作製されていること、前記リーレンズは前記ホログラムレンズのコマ収差を補正していること、そして前記リーレンズは偏心レンズを有していること等を特徴としている。

[0023] この他本発明のホログラムレンズは画像表

示器からの画像情報を基づく光束を所定方向に回折させ

て、該画像情報を他の画像情報を空間的に重畠させて同一視野で観察する為のホログラムレンズであつて、該ホログラムレンズはN.A.が等しい寸法の要素ホログラム

を有する off-axis 型より成っていることを特徴としている。

[0024]

【実施例】図1は本発明のホログラムレンズの実施例1

の要部構造図である。

[0025] 同図において3は off-axis 型のホ

ログラムレンズである。本実施例ではホログラムレンズ

は3は3つの要素ホログラム31, 32, 33を有するホ

ログラムレンズアレイより成る場合を示している。2は基板であり、その面上にホログラムレンズ3を形成している。1は枚面面であり、表示装置に通用したときの観察者の眼に相当している。5は像面であり、表示装置に相当して通用したときの画像表示器の画像情報の位置に相当して5に画像情報を配置したときホログラムレンズ3を介して双方の画像情報を空間的に重畠して同一視野で観察している。

[0026] 次にホログラムレンズ3を屈折方向に3つ要素ホログラムレンズが独立して要素ホログラムN.A.が等しくなることによって各要素ホログラムサイズが分割され

ており、かつ、各要素ホログラムのN.A.が等しくなることによって各要素ホログラムサイズが分割され

するに、該要素ホログラム32は屈角+w=10°に對応するものとして説明を行う。尚、この屈角wは off-axis 型のホログラムレンズ3の仕様によって、適宜策定している。

[0033] 本実施例においては、該要素ホログラム3

2の屈角距離をf := 4.5 mmとし、N.A. = 0.36

と設定している。このとき、要素ホログラム31の屈角距離の点C3は、該要素ホログラム32の最下端の点にも

対応している。この点C3での面内格子ピッチP\_w :=

0.7, 3.96 μmであるから、この点C3へ屈角+w=

10°、つまり入射角90°で入射する光路は回折角1

2.89°で回折される。

[0034] 従って、該要素ホログラム32のN.A.は

0.36で設定されているので、該要素ホログラム32の寸法を約1.7 mmに分離している。同様にして、面内格子ピッチP\_w := 0.6 mmに設定しており、N.A. = 0.3

6で約3.0 mmの寸法で分離している。

[0035] そこで本実施例では該要素ホログラム32の寸法を約1.7 mmに分離している。同様にして、面内格子ピッチP\_w := 0.6 mmに設定しており、N.A. = 0.3

6で約3.0 mmの寸法で分離している。

[0036] 以上、本発明のホログラムレンズアレイの屈角方向の分割方法について説明を行つたが、本実施例では水水平方向についても、同様にN.A.を一定にする様に分離している。

[0037] 図2は図1のホログラムレンズ3を光路3か

ら合象子としてヘルメットマウントディスプレイ装置(HMD装置)に適用したときの実施例1の要部構造図であ

る。図2において図1で示した要素と同一要素とは同符号を付している。

[0038] 本実施例ではノーラゲンランプ等の光路3か

ら発せられた光束は適宜な形状を有するランプハウフ

で略平行光として、画像表示器の画像情報を沿うる

元の点F1の面内格子ピッチP\_w := 0.7, 3.96 μmであり、回折角90°で入射する。このとき、要素ホ

ホログラムレンズ3は、A.が等しい寸法の要素ホログラムレンズ31の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム31の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F1へ入射する

光路4は、ガラスや要素ホログラム31の屈角距離をf := 1.0 mmである。又、最も上の端の点C3では、面内格子ピッチP\_w := 0.7, 3.96 μmである。回折角90°で入射する

光路4は屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホ

ホログラムレンズ3は、A.が等しい寸法の要素ホログラム

レンズ32を有する。該要素ホログラム32は、屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム32の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F2へ入射する

光路5は、ガラスや要素ホログラム32の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム32の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F3へ入射する

光路6は、ガラスや要素ホログラム33の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム33の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F4へ入射する

光路7は、ガラスや要素ホログラム34の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム34の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F5へ入射する

光路8は、ガラスや要素ホログラム35の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム35の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F6へ入射する

光路9は、ガラスや要素ホログラム36の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム36の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F7へ入射する

光路10は、ガラスや要素ホログラム37の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム37の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F8へ入射する

光路11は、ガラスや要素ホログラム38の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム38の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F9へ入射する

光路12は、ガラスや要素ホログラム39の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム39の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F10へ入射する

光路13は、ガラスや要素ホログラム40の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム40の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F11へ入射する

光路14は、ガラスや要素ホログラム41の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム41の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F12へ入射する

光路15は、ガラスや要素ホログラム42の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム42の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F13へ入射する

光路16は、ガラスや要素ホログラム43の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム43の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F14へ入射する

光路17は、ガラスや要素ホログラム44の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム44の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F15へ入射する

光路18は、ガラスや要素ホログラム45の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム45の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F16へ入射する

光路19は、ガラスや要素ホログラム46の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム46の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F17へ入射する

光路20は、ガラスや要素ホログラム47の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム47の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F18へ入射する

光路21は、ガラスや要素ホログラム48の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム48の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F19へ入射する

光路22は、ガラスや要素ホログラム49の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム49の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F20へ入射する

光路23は、ガラスや要素ホログラム50の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム50の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F21へ入射する

光路24は、ガラスや要素ホログラム51の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム51の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F22へ入射する

光路25は、ガラスや要素ホログラム52の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム52の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F23へ入射する

光路26は、ガラスや要素ホログラム53の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム53の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F24へ入射する

光路27は、ガラスや要素ホログラム54の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム54の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F25へ入射する

光路28は、ガラスや要素ホログラム55の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム55の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F26へ入射する

光路29は、ガラスや要素ホログラム56の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム56の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F27へ入射する

光路30は、ガラスや要素ホログラム57の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム57の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F28へ入射する

光路31は、ガラスや要素ホログラム58の屈角距離をf := 1.0 mmとしている。該要素ホログラム58の屈角距離をf := 1.0 mmである。この点F29へ入射する



過するフィルターを設けていないが、不要な背景光をカットしたり、ホログラムレンズによる色収差を防ぐために干渉フィルター等のフィルターを設けても良い。

[0081] 同様に、光源71で生じる熱エネルギーの対策としてコールドミラーや赤外カットフィルター等を用いても良い。

[0081] 次に本実施例の構成の各要素の具体的な数値例について説明する。

[0082] 本実施例に用いたホログラムレンズ6の製造方法としては、例えば波長514.5 nmのアルゴンレーザからのヒーリング光をハーフミラー等で2つの光束に分離し、このうち一方の光束を乾板から5 mmの位置から発散する乾版光源(透鏡光源)として、入射角0°(垂直入射)で入射させている。

[0083] 又、他方の光束を乾板から10 mmの位置に発光する乾版光源として、入射角34°で前記波長光束に対して射出する方向から乾版に入射させている。そして該2つの光束による干涉図を記録、現像したものを使用している。

[0084] 膜材料としては重クロム酸セラチン、銀塩感材、フォトポリマー等様々なものが使用できるが、本実施例ではフォトポリマーを用いている。

[0085] 又、本実施例に用いるプリズム74は屈折率1.9の光学ガラスかアクリル樹脂の屈折角が約16°、中心厚が約5 mmでホログラムレンズ76から約2 mmの位置に光軸と約5度をなす角度で配置している。又、前記プリズム74と液晶表示装置73との間の距離は約8 mmである。更に、前記液晶表示装置73は光軸に対して約4°の角度で傾けて配置している。

[0086] 図8は本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例3の要部構造図である。

[0087] 本実施例では図7の実施例2に比べて液晶表示素子73とプリズム74との間にリーレンズ78を設けたことと、該プリズム74を前記リーレンズ78の中央部裏面79近傍に配置したことが異なる。又、その他の構成は略同じである。

[0088] 次に実施例2と異なる点を中心に説明する。

[0089] リーレンズ78は材質の屈折率が1.75、焦点距離が約1.4 mmの凸面の単レンズより成っている。ホログラムレンズ76とプリズム74とで生じる収差を補正するために、該リーレンズ78の輪外収差を用いている。このため該リーレンズ78の少なくとも一部のレンズは光軸に対して適当な偏心、傾きを与えて構成している。

[0090] 液晶表示素子73と該リーレンズ78との間の距離は約2.3 mm、該プリズム74とプリズム74との間の距離は約3.7 mmである。該プリズム74は材質の屈折率が1.487、プリズム頂角が約5°、中心厚が約1.5 mmであって、第1回(リーレンズ側の面)は光軸に対して約30°傾けて配置している。

[0091] 本実施例においてはリーレンズ78によってもホログラムレンズ76によって生じる収差を補正するようにして、これによりより良好なる収差補正を行っている。又、前記リーレンズ78と該プリズム74を小さくすることができるという特徴がある。

[0092] 次に実施例2と異なる点を中心説明する。

[0093] リーレンズ78は材質の屈折率が1.75、焦点距離が約1.4 mmの凸面の単レンズより成っている。ホログラムレンズ76とプリズム74とで生じる収差を補正するために、該リーレンズ78の輪外収差を用いている。このため該リーレンズ78の少なくとも一部のレンズは光軸に対して適当な偏心、傾きを与えて構成している。

[0094] 次に実施例2と異なる点を中心説明する。

[0095] リーレンズ78は材質の屈折率が1.75、焦点距離が約1.5 mmの凸面の単レンズより成っている。ホログラムレンズ76とプリズム74とで生じる収差を補正するために、該リーレンズ78は光軸に対して適当な偏心、傾きを与えて構成している。該プリズム74は材質の屈折率が1.487、プリズム頂角は約2.7 mmで、該リーレンズ78とプリズム74との間の距離は約1.6 mm、該プリズム74とホログラムレンズ76との間の距離は約5.0 mmである。該プリズム74は材質の屈折率が1.487、プリズム頂角が約5°、中心厚が約1.5 mmであって、第1回(リーレンズ側の面)は光軸に対して約30°傾けて配置している。

[0096] 本実施例においてはリーレンズ78によってもホログラムレンズ76によって生じる収差を補正するようにして、これによりより良好なる収差補正を行っている。又、前記リーレンズ78と該プリズム74を小さくすることができるという特徴がある。

[0097] 次に実施例2、3、4において使用したホログラムレンズ76は、前述した如く発散光束と収束光束の2光束により作製しているが、これら収束光束に収差を生じて、ホログラムを記録し、該ホログラムの再生時(使用時)に生じる収差を補正するようにして作製しても良い。

[0098] 又、これまでの実施例2、3、4においてプリズム76により非収差を発生させていたが、本発明の表示装置において生じるコマ収差の補正是記録光束にコマ収差を生じてホログラムレンズを作製し、このとき得られるホログラムレンズを用いて構成しても良い。

[0099] 以上のように実施例2、3、4によれば圖10の表示器からの画像情報を光束をホログラムレンズによって

観察者の眼に向へ回折して画像情報を虚像として觀察する際、画像表示器とホログラムレンズとの間にプリズムを設けることにより、ホログラムレンズによって生じる非点収差を良好に補正し、解像度の高い精明な画像情報を観察することができる表示装置を構成している。

[0100] 本実施例では図7の実施例2に比べて液晶表示装置73とプリズム74との間にリーレンズ78を設けたことと、該プリズム74を前記リーレンズ78の中央部裏面79よりも前記リーレンズ78に近い位置に配置したことが異なっており、その他の構成は略同じである。

[0101] 本実施例2の要部構造図である。

[0102] 本実施例では図7の実施例4に比べて液晶表示装置73とプリズム74との間にリーレンズ78を設けたことと、該プリズム74を前記リーレンズ78の中央部裏面79よりも前記リーレンズ78に近い位置に配置したことが異なっており、その他の構成は略同じである。

[0103] 本実施例によればホログラムコンバインナーを介して画像表示器からの画像情報を他の画像情報とを空間的に重畳して同一視野で観察する際、画像表示器とホログラムコンバインナーとの間の光路をより良好に補正し、観察することによりコマ収差や非点収差を良好に補正し、観察することが可能となる。

[0104] 従来のホログラムレンズを用いた表示装置の要部構造図である。

[0105] 本実施例3の要部構造図である。

[0106] 本実施例4の要部構造図である。

[0107] 本実施例2の要部構造図である。

[0108] 本実施例1の要部構造図である。

[0109] 本実施例3の要部構造図である。

[0110] 本実施例4の要部構造図である。

[0111] 本実施例2の要部構造図である。

[0112] 本実施例3の要部構造図である。

[0113] 本実施例4の要部構造図である。

[0114] 本実施例2の要部構造図である。

[0115] 本実施例3の要部構造図である。

[0116] 本実施例4の要部構造図である。

[0117] 本実施例2の要部構造図である。

[0118] 本実施例3の要部構造図である。

[0119] 本実施例4の要部構造図である。

[0120] 本実施例2の要部構造図である。

[0121] 本実施例3の要部構造図である。

[0122] 本実施例4の要部構造図である。

[0123] 本実施例2の要部構造図である。

[0124] 本実施例3の要部構造図である。

[0125] 本実施例4の要部構造図である。

[0126] 本実施例2の要部構造図である。

[0127] 本実施例3の要部構造図である。

[0128] 本実施例4の要部構造図である。

[0129] 本実施例2の要部構造図である。

[0130] 本実施例3の要部構造図である。

[0131] 本実施例4の要部構造図である。

[0132] 本実施例2の要部構造図である。

[0133] 本実施例3の要部構造図である。

[0134] 本実施例4の要部構造図である。

[0135] 本実施例2の要部構造図である。

[0136] 本実施例3の要部構造図である。

[0137] 本実施例4の要部構造図である。

[0138] 本実施例2の要部構造図である。

[0139] 本実施例3の要部構造図である。

[0140] 本実施例4の要部構造図である。

[0141] 本実施例2の要部構造図である。

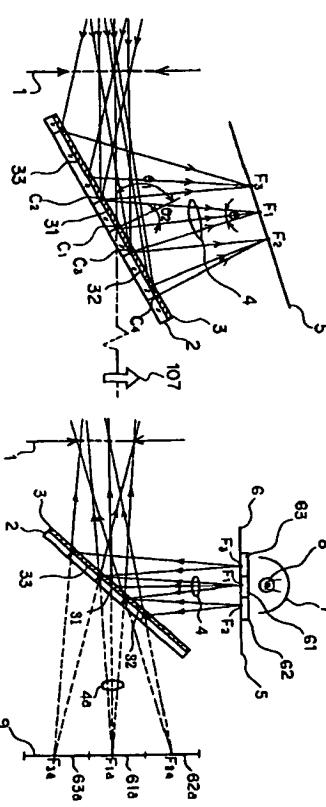
[0142] 本実施例3の要部構造図である。

[0143] 本実施例4の要部構造図である。

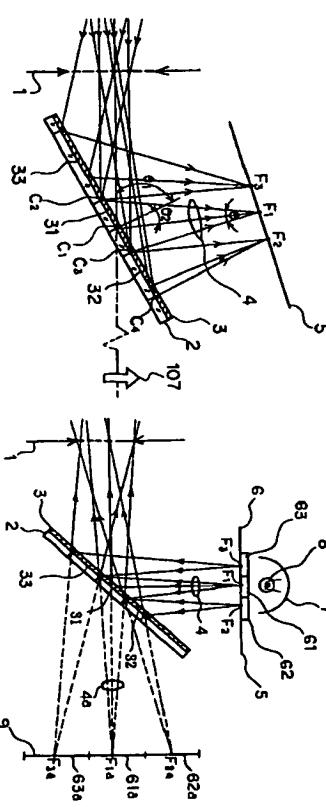
[0144] 本実施例2の要部構造図である。

[0145] 本実施例3の要部構造図である。

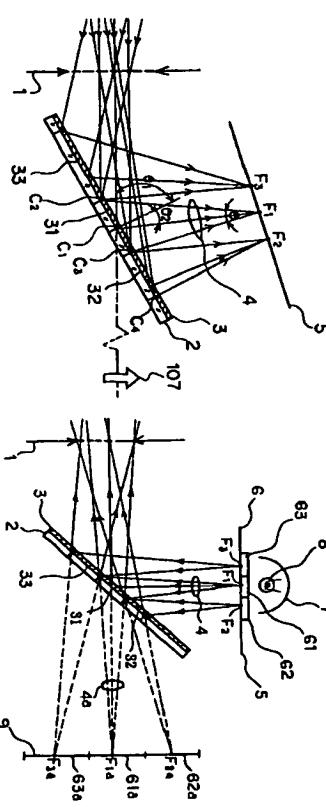
[0146] 本実施例4の要部構造図である。



[図1] 本実施例2の説明



[図2] 本実施例3の説明



[図3] 本実施例4の説明

[図4] 本実施例のホログラムレンズの製作方法の要部構造図

[図5] 本実施例のホログラムレンズの記録光束の説明

[図6] 本実施例のホログラムレンズの記録光束の説明

[図7] 本実施例のホログラムレンズを用いた表示装置の要部構造図

[図8] 本実施例のホログラムレンズを用いた表示装置の要部構造図

[図9] 本実施例のホログラムレンズを用いた表示装置の要部構造図

[図10] 従来のホログラムレンズを用いた表示装置の要部構造図

[図11] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例1の要部構造図

[図12] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例2の要部構造図

[図13] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例3の要部構造図

[図14] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例4の要部構造図

[図15] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例5の要部構造図

[図16] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例6の要部構造図

[図17] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例7の要部構造図

[図18] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例8の要部構造図

[図19] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例9の要部構造図

[図20] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例10の要部構造図

[図21] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例11の要部構造図

[図22] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例12の要部構造図

[図23] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例13の要部構造図

[図24] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例14の要部構造図

[図25] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例15の要部構造図

[図26] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例16の要部構造図

[図27] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例17の要部構造図

[図28] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例18の要部構造図

[図29] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例19の要部構造図

[図30] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例20の要部構造図

[図31] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例21の要部構造図

[図32] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例22の要部構造図

[図33] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例23の要部構造図

[図34] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例24の要部構造図

[図35] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例25の要部構造図

[図36] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例26の要部構造図

[図37] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例27の要部構造図

[図38] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例28の要部構造図

[図39] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例29の要部構造図

[図40] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例30の要部構造図

[図41] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例31の要部構造図

[図42] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例32の要部構造図

[図43] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例33の要部構造図

[図44] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例34の要部構造図

[図45] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例35の要部構造図

[図46] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例36の要部構造図

[図47] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例37の要部構造図

[図48] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例38の要部構造図

[図49] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例39の要部構造図

[図50] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例40の要部構造図

[図51] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例41の要部構造図

[図52] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例42の要部構造図

[図53] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例43の要部構造図

[図54] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例44の要部構造図

[図55] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例45の要部構造図

[図56] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例46の要部構造図

[図57] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例47の要部構造図

[図58] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例48の要部構造図

[図59] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例49の要部構造図

[図60] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例50の要部構造図

[図61] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例51の要部構造図

[図62] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例52の要部構造図

[図63] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例53の要部構造図

[図64] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例54の要部構造図

[図65] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例55の要部構造図

[図66] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例56の要部構造図

[図67] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例57の要部構造図

[図68] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例58の要部構造図

[図69] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例59の要部構造図

[図70] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例60の要部構造図

[図71] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例61の要部構造図

[図72] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例62の要部構造図

[図73] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例63の要部構造図

[図74] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例64の要部構造図

[図75] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例65の要部構造図

[図76] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例66の要部構造図

[図77] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例67の要部構造図

[図78] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例68の要部構造図

[図79] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例69の要部構造図

[図80] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例70の要部構造図

[図81] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例71の要部構造図

[図82] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例72の要部構造図

[図83] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例73の要部構造図

[図84] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例74の要部構造図

[図85] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例75の要部構造図

[図86] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例76の要部構造図

[図87] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例77の要部構造図

[図88] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例78の要部構造図

[図89] 本実施例のホログラムレンズアレイの実施例79の要部構造図

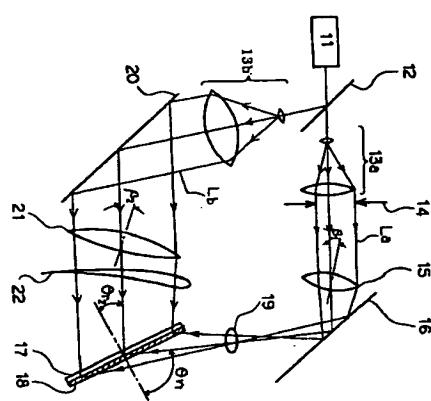
(1)

特許平5-346508

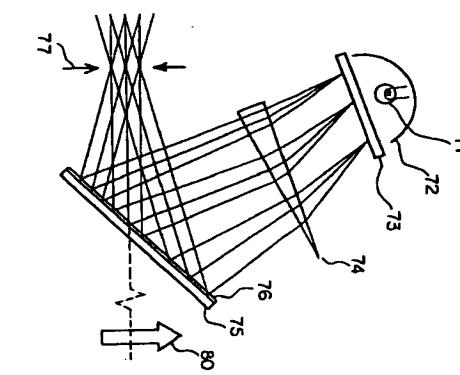
[図3]

(2,-2)	(1,-2)	(0,-2)	(1,-2)	(2,-2)
(2,-1)	(1,-1)	(0,-1)	(1,-1)	(2,-1)
(2,0)	(1,0)	(0,0)	(1,0)	(2,0)
(2,-1)	(1,-1)	(0,-1)	(1,-1)	(2,-1)
(2,-2)	(1,-2)	(0,-2)	(1,-2)	(2,-2)

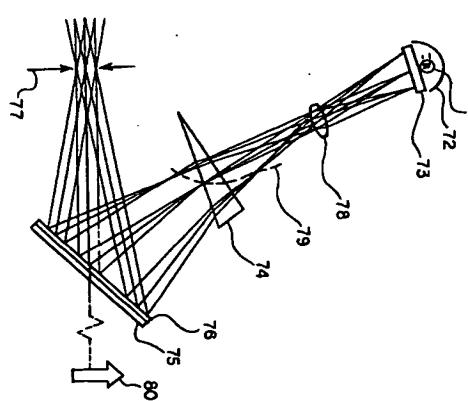
[図4]



[図7]



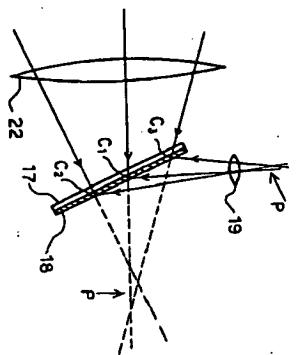
[図8]



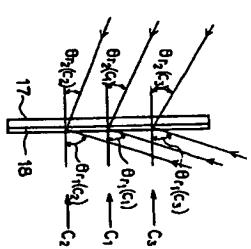
(1)

特許平5-346508

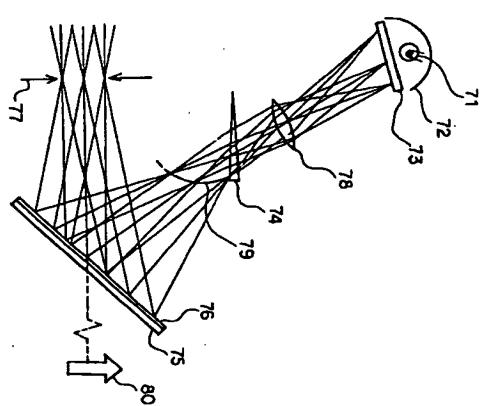
[図5]



[図6]



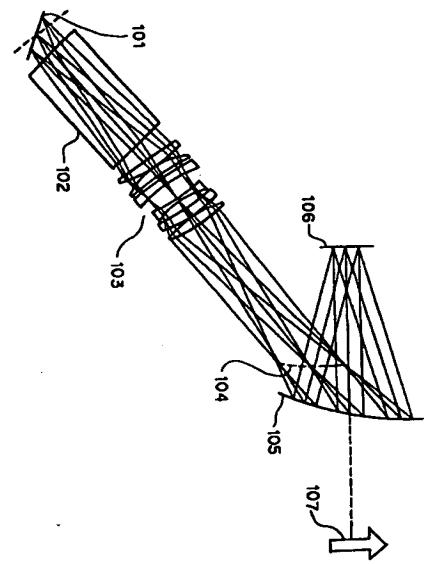
[図9]



(11)

特開平5-346508

[図10]



フロントページの継ぎ

(11)発明者 吉永 雅子

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(11)発明者 小林 晴

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(11)発明者 松村 進

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

**A Translation of Substantially the Whole of  
Japanese Patent Application Laid-Open No. H5-346508  
(Laid-Open on December 27, 1993)**

**5 [Title of the Invention]**

Hologram Lens and Display Apparatus Employing the Hologram Lens

**[Abstract]**

**[Object]**

10 To provide an off-axis type hologram lens that achieves a wide observation field of view and that permits observation of an image having an even brightness distribution, and to provide a display apparatus employing the hologram lens.

**[Features]**

15 A hologram lens by which a light beam emitted from an image display device in accordance with image information thereof is diffracted into a predetermined direction so that the image information and other image information are observed in the same field of view while being spatially superimposed on each other. The hologram lens is off-axis type and composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

**20 [Claims]**

**[Claim 1]** An off-axis type hologram lens,

wherein the hologram lens is divided into a plurality of elemental holograms, and the sizes of the individual elemental holograms are so set that they exhibit the same NA.

**[Claim 2]** A display apparatus,

25 wherein a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through an off-axis type hologram lens that is composed of a plurality of elemental holograms having the same N.A., and the image information and image information behind the hologram lens are spatially superimposed on each other and then observed in a same field of view.

30 **[Claim 3]** A hologram lens as claimed in claim 1,

wherein the hologram lens is a volume-phase type hologram.

**[Claim 4]** A display apparatus as claimed in claim 2,

wherein the hologram lens is a volume-phase type hologram.

[Claim 5] A display apparatus in which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through a hologram lens, and the image information and image information behind the 5 hologram lens are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other,

wherein a prism is provided in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[Claim 6] A display apparatus as claimed in claim 5,

10 wherein a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[Claim 7] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the prism.

15 [Claim 8] A display apparatus as claimed in claim 7,

wherein an intermediate image plane of the image display device is arranged between the prism and the hologram lens or near the prism.

[Claim 9] A display apparatus as claimed in claim 5,

20 wherein the prism is arranged in a manner so as to correct astigmatism occurring on the hologram lens.

[Claim 10] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein the hologram lens is manufactured by using a wave surface that corrects coma aberrations.

[Claim 11] A display apparatus as claimed in claims 6 or 7,

25 wherein the relay lens corrects coma aberrations occurring on the hologram lens.

[Claim 12] A display apparatus as claimed in claim 11,

wherein the relay lens includes a decentered lens.

[Claim 13] A hologram lens by which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction, and the 30 image information and other image information are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other

wherein the hologram lens is off-axis type composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

**[Detailed Description of the Invention]**

5 [0001]

**[Field of the Invention]**

The present invention relates to a hologram lens and a display apparatus employing the hologram lens, and particularly to a display apparatus in which, for example, by using a 10 hologram lens as an element for binding light beams (hereinafter, it is referred to as a light-beams-binding element), image information from an image display device and other image information including a natural view in the front field (behind the hologram lens) are observed in the same field of view while being superimposed on each other.

[0002]

**[Prior Art]**

15 A display apparatus in which, by using a transparent light-beams-binding element made of a multilayer reflecting surface, a hologram optical element, or the like, display information (image information) from an image display device and image information of an outside view or the like are observed in the same field of view while being spatially 20 superimposed on each other is generally called as a head-up display and widely used in many fields.

[0003]

And a display apparatus in which the light-beams-binding element is disposed near an observer's eye for miniaturizing components of an optical device in order to mount it on a helmet is called as a helmet-mounted display (HMD). And several applications thereof have 25 been proposed including a display used by a pilot, a display for use in a leisure purpose such as games, and a display for use in the artificial reality field.

[0004]

Fig. 10 shows an optical path of an HMD functioning as a display apparatus disclosed in USP 3,940,204.

30 [0005]

In this apparatus, display light exited from an image display surface 101 of a CRT (not

shown) passes through a prism system 102, and enters a relay lens 103. The relay lens 103 focuses the display light on an intermediate image plane 104 near a hologram combiner 105 that is formed on a visor (not shown) having an appropriate curvature. The display light is emitted from the intermediate image plane as divergent light, and enters an observer's pupil 5 106 after being formed into a substantially parallel beam by the hologram combiner 105 functioning as a lens element. Therefore, the observer can observe an image of the CRT (virtual image) formed on an infinite-point while superimposing it on a front view 107.

[0006]

In this display apparatus, because the hologram combiner is widely off-axially 10 arranged, the hologram combiner 105 causes complicated aberrations. Therefore, in this conventional example, the prism system 102 and the image display surface 101 of the CRT are obliquely arranged so as to correct the aberrations occurring on the hologram combiner 105.

[0007]

15 **[Problems to be Solved by the Invention]**

In a conventional display apparatus, aberrations occurring on a hologram combiner are corrected by inclining a prism system or by decentering a part of a relay lens. Therefore, the display apparatus as a whole becomes complicated and high accuracy is required to assemble such a display apparatus.

20 [0008]

In addition, in the conventional display apparatus, in order to secure a wider observation field of view, it is necessary to make the hologram combiner larger, and this causes larger amount of aberrations occur on the hologram combiner.

[0009]

25 To cope with this problem, for example, USP Nos. 3807829 and 3915548 disclose a head-up display (display apparatus) which prevents the hologram combiner from becoming larger while securing a wider observation field of view.

[0010]

Here, as a combiner, a hologram lens array composed of the same size of a plurality of 30 elemental holograms is off-axially arranged.

[0011]

However, in this display apparatus, the NA (numerical apertures) are different in the individual light beams entering the observer's eye, and this makes a brightness distribution thereof uneven.

[0012]

5 In other words, if an incident angle of an axial light beam incident on the hologram is expressed as  $\theta_{in}$ , a field of view of an off-axial light beam is expressed as  $w$ , and a pupil diameter of an observer is expressed as  $a$ , the size  $H$  of the incident light beam on the hologram surface is defined by

10 
$$H = a / \cos (\theta_{in} + w)$$

[0013]

Here, the size of the hologram on which an off-axial light beam in the positive (+) direction is incident becomes larger as the angle of view becomes wider. As a result, if such 15 a divided hologram lens array (combiner) is used in a general head-up display or a helmet mounted display (HMD), the individual light beams emitted from the individual points on the image display device such as a CRT have different solid angles from each other, and therefore the image superimposed through the combiner (another function of the hologram lens array) exhibits an uneven brightness distribution in accordance with the sizes of the individual 20 elemental holograms.

[0014]

In addition, in the conventional HMD, the prism system is obliquely arranged for correcting coma aberrations on the hologram combiner. However, not only coma aberrations but also many other types of aberrations occur on the hologram combiner.

25 [0015]

For example, in a hologram combiner in which a divergent-light-source-point emitting a light beam for recording hologram is disposed near the observer's pupil position (entrance pupil), and the recording light beam is made to interfere with another recording light beam that is focused near an exit pupil, astigmatic difference observed on the axis of the image-30 formation plane is around 13 mm and that observed at the angle of view  $\pm 20^\circ$  is around 5 to 15 mm. As a result, it is very difficult to satisfactorily observe the image information

thereof.

[0016]

An object of the present invention is to provide an off-axis type hologram lens which enables an observer to observe an image having a wide field of view and an even brightness distribution while spatially superimposing image information emitted from the image display device on other image information, and to provide an display apparatus employing the hologram lens.

[0017]

Another object of the present invention is, when image information from the image display device and other image information are observed in a same field of view through a hologram combiner while being spatially superimposed on each other, to provide a hologram lens that enables an observer to observe a favorable image by providing a prism in an optical path between an image display device and a hologram combiner for sufficiently correct coma aberrations and astigmatism.

[0018]

**[Means for Solving the Problem]**

To achieve the above object, according to the present invention, an off-axis type hologram lens, wherein the hologram lens is divided into a plurality of elemental holograms in a manner that the individual elemental holograms have the same NA.

[0019]

According to another aspect of the present invention, the hologram lens is a volume-phase type hologram.

[0020]

According to another aspect of the present invention, a display apparatus, wherein a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted in a predetermined direction through an off-axis type hologram lens composed of a plurality of elemental holograms having the same N.A., and the image information and image information behind the hologram lens are spatially superimposed on each other for being observed in a same field of view.

[0021]

According to another aspect of the present invention, a display apparatus in

which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through a hologram lens, and the image information and image information behind the hologram lens are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other, wherein a prism is provided  
5 in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[0022]

According to another aspect of the present invention, a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the prism, the prism is so arranged as to correct astigmatism occurring on the hologram, the hologram lens is  
10 manufactured by using a wave surface for correcting coma aberrations, the relay lens corrects coma aberrations occurring on the hologram lens, and the relay lens includes a decentered lens.

[0023]

According to another aspect of the present invention, a hologram lens in which  
15 a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction, and the image information and other image information are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other. The hologram lens is off-axis type and composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

20 [0024]

[Example]

Fig. 1 is a schematic diagram illustrating the principal part of the hologram lens array used in Example 1 of the present invention.

[0025]

25 In this figure, reference numeral 3 represents an off-axis type hologram lens. In this example, the hologram lens 3 is formed of a hologram lens array comprising three elemental holograms 31, 32, and 33. Reference numeral 2 represents a substrate on which the hologram lens 3 is formed. Reference numeral 1 represents an aperture surface which corresponds to an observer's pupil when the hologram lens is applied to a display apparatus.  
30 Reference numeral 5 represents an image plane which corresponds to a position of image information of an image display device when the hologram lens is applied to a display

apparatus. Reference numeral 107 represents other image information such as a natural view and when image information is delivered to the image plane 5 through the hologram lens 3, the observer observes both image information in a same field of view while spatially superimposing on each other.

5 [0026]

Then, the optical character of the hologram lens array 3 composed of three elemental holograms perpendicularly arranged will be explained.

[0027]

First, an axial light beam thereof will be explained. In this figure, the light beam 10 exited from the aperture surface 1 enters the hologram lens array 3 formed on the substrate 2 at an incident angle of  $\theta_1$ . Among the three elemental holograms, the elemental hologram 31 reflectively diffracts the axial light beam as a light beam 4 at an angel  $\theta_2$ . Here, the elemental hologram 31 is so structured as to fulfill the Bragg condition only to a light beam having the incident angle of  $\theta_1$ , and to achieve wave surface conversion to convert the light 15 beam into a convergent light beam 4 which is condensed on the focal point F1 on the image plane 5.

[0028]

The light beam exited from the aperture surface 1 enters also the other elemental holograms 32 and 33 at the same incident angle  $\theta_1$ ; however, these elemental holograms 32 20 and 33 do not fulfill the Bragg condition to a light beam having the incident angle of  $\theta_1$ , and they do not exhibit predetermined diffraction efficiency. Therefore, in this example, only the axial light beam is diffracted on the elemental hologram 31 and condensed on the focal point F1.

[0029]

25 On the other hand, to the light beam entering the hologram lens array 3 at an angle of view  $+w$ , it is so structured that only the elemental hologram 32 fulfills the Bragg condition, and that the light beam is condensed on the focal point F2. In the same manner, it is so structured that the light beam entering the hologram lens array 3 at an angle of view  $-w$  is condensed on the focal point F3.

30 [0030]

In this example, it is determined that the central wavelength of the light beam focused

by the hologram lens array 3 as 530 mm, the incident angle  $\theta_1$  incident on the center C1 of the hologram lens array 3 as  $60^\circ$ , the diffractive angel  $\theta_2$  as  $20^\circ$ , and the focal length  $f_{31}$  of the elemental hologram 31 as 50 mm. The grating constant at the center C1 of the elemental hologram 31 is so determined as to have in-plane grating pitch  $P_{c1}$  of  $1.011 \mu\text{m}$ .

5 [0031]

Furthermore, the diameter of the axial light beam to which the elemental hologram 31 fulfills the Bragg condition is determined as  $\phi 10 \text{ mm}$ . The lowest edge point C2 of the elemental hologram 31 has in-plane grating pitch  $P_{c2}$  of  $1.4466 \mu\text{m}$  and the diffraction angle of  $29.98^\circ$ . And the highest edge point C3 thereof has in-plane grating pitch  $P_{c3}$  of  $0.7396 \mu\text{m}$ ,  
10 and the diffraction angle of  $8.59^\circ$ . The elemental hologram 31 is so divided that the numerical apertures (NA) thereof becomes 0.36 and that the size thereof is 20 mm.

[0032]

Then, the elemental hologram 32 that condenses a light beam on the focal point F3 on the image plane 5 will be explained. To make the explanation simple, the elemental  
15 hologram 32 is so determined as to affect a light beam having the angle of view  $+w$  of  $10^\circ$ . Note that, the angle of view  $w$  is properly adjusted in accordance with the specification of the off-axis type hologram lens array 3.

[0033]

In this example, it is determined that the foal length  $f_{32}$  of the elemental hologram 32  
20 as 45 mm, and the NA thereof as 0.36. Here, the highest edge point C3 of the elemental hologram 31 corresponds to the lowest edge point of the elemental hologram 32. Because the in-plane grating pitch  $P_{c3}$  on the point C3 is  $0.7396 \mu\text{m}$ , the light beam entering the point C3 at an angle of view  $+w$  of  $10^\circ$ , i.e. the incident angle of  $70^\circ$ , is diffracted at the diffraction angle of  $12.89^\circ$ .

25 [0034]

Because the N. A. of the elemental hologram 32 is determined as to be 0.36, on the highest edge point C4 of the elemental hologram 32, in-plane grating pitch  $P_{c4}$  becomes  $0.4874 \mu\text{m}$  and the diffraction angle becomes  $-8.49^\circ$  (here,  $-$  means that a diffracted light beam is included in an incident light beam travels from the surface radiation)

30 [0035]

Therefore, in this example, the hologram lens array is so divided that the elemental hologram 32 has the size around 17 mm. In the same manner, the elemental hologram 33 used for the light beam having the angle of view – w of 10° is so determined as to have the focal length  $f_{33}$  of 60 mm and the N. A. of 6, and therefore the hologram lens array is so divided that the elemental hologram 33 has the size around 30 mm.

5

[0036]

How the hologram lens array embodying the present invention is divided in perpendicular direction is explained so far. However, in this example, the hologram lens array is also horizontally divided in a manner such that the each elemental holograms has the  
10 identical N. A.

[0037]

Fig. 2 is a schematic diagram illustrating the principal parts of Example 1 which applies the hologram lens array 3 shown in Fig. 1 to a helmet-mounted display (HMD) as a light-beams-binding element. In Fig. 2, such elements as are found also in Fig. 1 are  
15 identified with the same reference numerals.

[0038]

In this example, the light beam that is emitted from a light source 8 such as a halogen lamp is formed into a substantially parallel beam by a lamp house having an appropriate shape, and that illuminates a display surface 6 of a liquid crystal display conveying an image  
20 information of the image display device. The light beam 4 emitted from a point F1 on a display surface 5 of the liquid crystal display 6 enters a hologram lens array 3 formed on a transparent substrate 2 made of glass, plastics, or the like.

[0039]

The hologram lens array 3 has an elemental hologram 31 that fulfills the Bragg condition only to the light beam 4, and therefore the light beam 4 is reflectively diffracted only on the elemental hologram 31 and then enters an observer's pupil 1. Here, the elemental hologram 31 functions as a lens element that converts the light beam 4 into a slight divergent light beam. The observer observes the image information of the point F1 on the display surface 5 as a virtual image formed in accordance with a light beam 4a diverging from  
30 a point F1a in front of the hologram lens array 3.

[0040]

In the same manner, the light beams emitted from points F2 and F3 on the display surface 5 of the image display device 6 are reflectively diffracted into the observer's pupil 1 only by elemental holograms 32 and 33, respectively. Thereby, the observer observes the image information of the points F2 and F3 as a virtual image formed in accordance with the 5 light beams diverging from points F2a and F3a in front of the hologram lens array 3.

[0041]

As described above, each point on the display surface 5 of the liquid crystal display 6 is reflectively diffracted by the individual elemental holograms 31, 32, or 33 so as to form a virtual image.

10 [0042]

Note that, although a white light source is used in the present invention, because the elemental holograms have wavelength selectivity (dependency of diffraction efficiency on wavelength), they exhibit the highest diffraction efficiency to the light beam having the central wavelength  $\lambda_0$  that fulfills the Bragg condition. If the full width at half maximum 15 thereof is expressed as  $2\Delta\lambda$ , among the white light beams incident on, the elemental holograms reflectively diffract only the light beams having the central wavelength from  $\lambda_0 - \Delta\lambda$  to  $\lambda_0 + \Delta\lambda$ . Therefore, in this example, a halogen lamp is used as a light source.

[0043]

It is of course possible to use an interference filter that transmits only the light beams 20 emitted from the halogen lamp and the light beams having the necessary wavelengths. In addition, in this example, the individual elemental holograms 31, 32, and 33 have regions 61, 62, and 63, respectively, in which aberrations are sufficiently corrected, and therefore all the points on the virtual image 9 that is composed of the individual regions 61a, 62a, and 63a can be observed as image points almost free from aberrations.

25 [0044]

As described above, in this example, a helmet-mounted display is constructed by using a reflection-off-axis type hologram lens array; however, it can be also constructed by using a transmission-off-axis type hologram lens array in the same manner.

[0045]

30 Furthermore, in this example, the case in which the display apparatus is structured by making the display surface 5 of the liquid crystal display 6 correspond to the image plane 5 of

the hologram lens array 3 is explained; however, by use of a relay lens, it is of course possible to structure the display apparatus by converting a display surface of a CRT or a liquid crystal display into an intermediate image plane of the relay lens in order to make the intermediate image plan correspond to the display surface 5 (object surface of the hologram lens array) of  
5 this example.

[0046]

Moreover, it is possible to construct the display apparatus by using a cold mirror or an infrared ray cut-off filter for preventing the light source from emitting a light beam having unnecessary wavelengths, if appropriate.

10 [0047]

In this example, the display apparatus is constructed by using the hologram lens array that exhibits diffraction efficiency only to a single wavelength; however, it is possible to construct a similar display apparatus by combining hologram lens arrays having central wavelengths of red, blue, or green, and this makes it possible to display a multicolor image or  
15 a fully colored image.

[0048]

Fig. 3 is a schematic diagram illustrating a hologram lens employed in Example 2 of the present invention.

[0049]

20 In this example, a hologram lens array is composed of  $5 \times 5$  of elemental holograms.

[0050]

In this figure, the coordinates  $(i, j)$  ( $i, j = -2$  to  $2$ ) indicate angles of view of light beams in the perpendicular and horizontal directions relative to an axial light beam including the point C1 that forms an optical axis which is affected by the elemental hologram  $(0, 0)$ .

25 For example, the elemental hologram  $(i, J) = (2, 2)$  indicates the elemental hologram that affects to a light beam having the angles of view  $+w$  of  $+20^\circ$  in perpendicular direction and of  $+20^\circ$  in the horizontal direction. And the elemental hologram  $(i, j) = (-1, +1)$  indicates the elemental hologram that affects to an incident light beam having the angles of view of  $-10^\circ$  in the perpendicular direction and of  $+10^\circ$  in the horizontal direction.

30 [0051]

As described above, in the perpendicular direction, if the angle of view  $w$  having  $+$

mark becomes larger, the elemental hologram is divided into a smaller size.

[0052]

However, in the horizontal direction, since the coordinate is symmetric with respect to the line AA' passing through the point C1 on the elemental hologram (0, 0), the elemental  
5 hologram is divided into the same size at the angle of view of +w and -w. Therefore, when i = 0, the elemental holograms are divided into a smallest size.

[0053]

In this example, by controlling the size of each elemental hologram and its optical function, the N. A. of each elemental hologram is fixed so that the image information having  
10 an even brightness distribution can be observed.

[0054]

Note that, according to the present invention, there is no restriction on the number of elemental holograms composing the hologram lens array, at least if boundaries of each elemental hologram have the same in-plane grating pitch, the individual elemental holograms  
15 connect to each other in a manner such that the incident angle and the angle of diffraction of them fulfill the grating equation, and each elemental hologram fulfills the Bragg condition only to the light beam having the angle of view affected by the elemental hologram.

[0055]

Note that, in the above example, a reflection-off-axis type hologram lens array is explained; however, a transmission-off-axis type hologram lens array can be used in the same  
20 manner.

[0056]

Then, the manufacturing process of the off-axis type hologram lens array embodying the present invention will be explained with reference to the elemental hologram 31 shown in  
25 Fig. 1. Note that, the manufacturing process of the other elemental hologram is basically the same.

[0057]

As shown in Fig. 1, the elemental hologram 31 has the grating constant such that, on the point C1 on the surface of the hologram, the in-plane grating pitch  $P_{cl}$  is 1.011  $\mu\text{m}$ , the  
30 inclination angle of grating  $\phi_{cl}$  is 11.04°, and the grating interval  $d_{cl}$  is 0.1937  $\mu\text{m}$ .

[0058]

On the point C2, the grating constant fulfills the following equations:  $P_{c2} = 1.2375 \mu\text{m}$ ,  $\phi_{c2} = 9.15^\circ$ , and  $d_{c2} = 0.1968 \mu\text{m}$ . On the point C3, the grating constant fulfills the following equations:  $P_{c3} = 0.8390 \mu\text{m}$ ,  $\phi_{c3} = 13.14^\circ$ , and  $d_{c3} = 0.1907 \mu\text{m}$ .

[0059]

5 Then, with reference to Fig. 4, the process how the elemental holograms having the above-mentioned grating constants are recorded by using an argon ion laser having a wavelength of 514.5 nm on a photosensitive material having a refractive index of 1.5 will be explained.

[0060]

10 In Fig. 4, the laser light having the wavelength of 514.5 nm emitted from the argon ion laser 11 is split into two light beams by a half mirror 12, and then the beams are collimated by collimator systems 13a and 13b.

[0061]

15 One of the two collimated light beams La enters a lens system 15 that is arranged with its angle of view  $\beta_1$  inclined relative to the optical axis, and then is reflected on a mirror 16. The reflected light beam 19 reflected on the mirror 16 enters a photosensitive material 18 applied or attached to a transparent substrate 17. The incident light beam 19 is an off-axial light beam of the lens system 15 at the angle of view  $\beta_1$ , and, on the incident light beam 19, aberrations opposite to those of the off-axial lens system of the present invention occur in 20 order to correct those aberrations caused by the off-axial arrangement, and the difference in wavelength between the operating (or reproducing) wavelength (530 nm in this example) and the recording wavelength (514.5 nm).

[0062]

25 The other collimated light beam Lb is reflected from a mirror 20, and, by a lens system 21 obliquely arranged at  $\beta_2$  relative to the optical axis, made to enter the photosensitive material 18 as a convergent light beam having aberrations.

[0063]

30 The individual light beams 19 and 22, respectively, enter the photosensitive material 18 from the sides facing each other with the incident angles  $\theta_{r1}$  and  $\theta_{r2}$ , and interferes to each other. In this way, a reflection-type hologram is recorded.

[0064]

Note that, as the recording material 18 used in this example, dichromate gelatin, photopolymer, a silver-salt photosensitive material, or the like can be used. Among them, in Fig. 4, photopolymer is used.

[0065]

5 Fig. 5 is a diagram showing light beams with exaggeratedly illustrating the two light beams 19 and 22 entering the photosensitive material 18 disposed in a recording optical system.

[0066]

Fig. 6 is a diagram illustrating incident angles of recording laser beams on the points  
10 C1, C2, and C3 on the surface of the elemental hologram 31.

[0067]

In this figure, it is defined that on the point C1,  $\theta_{ri}(C1) = 69.88^\circ$ ,  $\theta_{r2}(C1) = 25.49^\circ$ ; on the point C2,  $\theta_{ri}(C2) = 70.95^\circ$ ,  $\theta_{r2}(C2) = 19.39^\circ$ ; and on the point C3,  $\theta_{ri}(C3) = 69.02^\circ$ ,  $\theta_{r2}(C3) = 31.20^\circ$ . And the distance between the point C1 and a primary imaging point P1 of the  
15 light beam 19 is 600 mm, and the distance between the point C1 and an imaging point P2 of the light beam 19 is 88 mm.

[0068]

As mentioned above, the size of the elemental hologram 31 (length between the point C2 and the point C3) is 20 mm. Because the distance between the lens system 21 and the  
20 photosensitive material 18 is set to 50 mm, the diameter of the lens system 21 becomes around 30 mm.

[0069]

In the present invention, while following the process mentioned above, a hologram lens array is manufactured by recording the individual elemental holograms by means of such  
25 as a step and repeat method. When the other elemental holograms are recorded, the incident angles of the light beams incident on the centers of the elemental holograms are controlled by rotating the mirrors 16 and 20. Furthermore, in accordance with the size of the elemental hologram, the individual light beams 19 and 22 are controlled by using a mask (not shown) or a spatial light modulator (not shown) such as a liquid crystal.

30 [0070]

In this example, a method to record the elemental hologram by using an aberration-

light-beam composed of an off-axial light beam of a rotationally symmetric lens system is explained; however, it is possible to use a recording optical system such as a lens system including a cylindrical lens or a decentered lens.

[0071]

5        In addition, in this example, collimated beams are made to enter the lens systems 15 and 21 which function as aberrations generators; however, it is possible to convert the light beams into divergent light beams by using a concave lens, a convex lens, a microscope objective lens, or the like, instead of using the collimation system 13 as in this example, and to use the lens systems 15 and 21 as finite imaging systems.

10      [0072]

As described above, in Example 1, the off-axis type hologram lens array is divided in such a manner that the elemental holograms have the sizes to exhibit the same NA. Thereby, the off-axis type hologram lens array is obtained that secures a wide angle of view and that exhibits an even brightness distribution all over the hologram surface.

15      [0073]

In addition, a display apparatus having a wide image plane is obtained in which image information light emitted from a CRT or a liquid crystal display is reflectively diffracted into the observer's pupil by an off-axis type hologram lens array for enabling the observer to observe the image information without suffering from an uneven brightness distribution.

20      [0074]

Fig. 7 is a schematic diagram illustrating the display of Example 2 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0075]

25      In this example, a light beam emitted from a light source 71 such as a halogen lamp is collimated by a lamp house 72 having an appropriate shape, and illuminates a liquid crystal display 73 displaying image information. By a prism 74, the light beams emitted from each point of the liquid crystal display 73 are given astigmatism having sign (+ or -) opposite to that of a hologram lens 76 described latter, and then enters the hologram lens 76 formed on a transparent substrate made of glass, plastics, or the like.

30      [0076]

The hologram lens 76 suffers from astigmatism having a sign (+ or -) opposite to that

of the light beams given by the prism 74. Therefore, the light beam entered the hologram lens 76 becomes a collimated beam with its aberrations well corrected, and then enters the observer's pupil.

[0077]

5 This enables the observer to observe the image information of the liquid crystal display 3 formed as a virtual image in front of the hologram lens 76 and the other image information 80 in the same field of view, while spatially superimposing on each other.

[0078]

10 The hologram lens 76 exhibits reflective diffraction efficiency only to an incident light beam having a wavelength in a specific range (Bragg diffraction). Therefore, even the incident light beam is white light, it is possible to observe its image information by use of the color light having the wavelength in the specific range.

[0079]

15 In this example, a filter that transmits only a light beam having a wavelength in the specific range is not employed; however, an interference filter or the like may be used for eliminating a light beam having an unnecessary wavelength, and to prevent chromatic aberrations caused by the hologram lens.

[0080]

20 It is also possible to use a cold mirror or an infrared ray cut-off filter in order to cope with the heat or an infrared ray generated in the light source 71.

[0081]

Hereinafter, the values of each constituent component of this example will be explained in detail.

[0082]

25 The manufacturing process of the hologram lens 76 used in this example is as follows: For example, a coherent light beam emitted from an argon laser having the wavelength of 514.5 nm is split into two light beams by a half mirror or the like, and one of the light beams is made to enter a dry plate with the incident angle at 0° (vertical incidence) from a point 50 mm away from the dry plate as a divergent light beam (recording light beam).

30 [0083]

And, as a convergent light beam focused on a point 100 mm away from the dry plate,

the other light beam is made to enter the dry plate with the incident angle at 34° from the direction opposite to that the recording light beam enters from. Then, an interference fringe made by the two light beams is recorded and developed.

[0084]

5 As a photosensitive material, dichromate gelatin, photopolymer, a silver-salt photosensitive material, or the like can be used. Among them, in this example, photopolymer is used.

[0085]

10 The prism 74 that is used in this example is made of optical glass having a refractive index of 1.91, that has the apex angle of 16° and the central thickness of 5 mm, and that is disposed around 21 mm away from the hologram lens 76 in an inclined state at 5° relative to the optical axis. In addition, the distance between the prism 74 and the liquid crystal display 73 is around 8 mm. Furthermore, the liquid crystal display 73 is obliquely arranged at 4° relative to the optical axis.

15 [0086]

Fig. 8 is a schematic diagram illustrating the display of Example 3 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0087]

20 The distinct feature of this example is that a relay lens 78 is arranged between a liquid crystal display 73 and a prism 74, and the prism 74 is arranged near an intermediate image plane 79 of the relay lens 78. In other respects, the construction here is the same as in Example 2 shown in Fig. 7.

[0088]

25 This example will be explained below with emphasizing the difference from Example 2.

[0089]

30 The relay lens 78 is composed of a biconvex lens that is made of a material having a refractive index of 1.755 and that has the focal length of around 14 mm. In order to correct aberrations occurring on the hologram lens 76 and the prism 74, off-axial aberrations of the relay lens 78 are used. Therefore, at least some portion of the relay lens 78 is adequately decentered or inclined relative to the optical axis.

[0090]

The distance between the liquid crystal display 73 and the relay lens 78 is around 26 mm, between the relay lens 78 and the prism 74 is around 23 mm, and between the prism 74 and the hologram lens 76 is around 37 mm. The prism 74 made of a material having a refractive index of 1.487 has the apex angle of 10° and the central thickness of 4 mm, and is arranged with its first surface (the relay lens side surface) is substantially perpendicular to the optical axis.

[0091]

In this example, the relay lens 78 also corrects the aberrations occurring on the hologram lens 76, and therefore the aberrations are corrected further favorably.

[0092]

Fig. 9 is a schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 4 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0093]

The distinct feature of this example is that a relay lens 78 is arranged between a liquid crystal display 73 and a prism 74, and the prism 74 is arranged in a position nearer to the relay lens 78 than an intermediate image plane 79. In other respects, the construction here is the same as in Example 2 shown in Fig. 7.

[0094]

This example will be explained below with emphasizing the difference from Example 2.

[0095]

The relay lens 78 is composed of a biconvex lens that is made of a material having a refractive index of 1.755 and that has the focal length of around 15 mm. In order to correct aberrations occurring on the hologram lens 76 and the prism 74, off-axial aberrations of the relay lens 78 are used. Therefore, the relay lens 78 is adequately decentered or inclined relative to the optical axis.

[0096]

The distance between the liquid crystal display 73 and the relay lens 78 is around 27 mm, between the relay lens 78 and the prism 74 is around 16 mm, and between the prism 74 and the hologram lens 76 is around 50 mm. The prism 74 made of a material having a

refractive index of 1.487 has the apex angle of 5° and the central thickness of 1.5 mm, and is arranged with its first surface (the relay lens side surface) is inclined at 30° relative to the optical axis.

[0097]

5 In this example, the relay lens 78 also corrects the aberrations occurring on the hologram lens 76, and therefore the aberrations are corrected further favorably.

[0098]

The distinctive character of this example is that the prism 74 can become more compact than that of Example 3.

10 [0099]

The hologram lens 76 used in Examples 2, 3, and 4 is manufactured, as described before, by using interference between a divergent light beam and a convergent light beam; however, it is also possible to record the hologram while giving aberrations to these recording light beams in such a manner that aberrations observed when the hologram is reproduced 15 (while in a use) will be corrected.

[0100]

Furthermore, in Examples 2, 3, and 4, astigmatism is made to occur on the prism 76; however, coma aberrations occurring in the display apparatus embodying the present invention can be corrected by using the hologram lens manufactured with coma aberrations 20 given to the recording light beams.

[0101]

As described above, according to Examples 2, 3, and 4, when an observer observes image information emitted from an image display device as a virtual image by diffracting it in the direction to the observer's pupil by means of a hologram lens, by providing a prism 25 between the image display device and the hologram lens, astigmatism occurring on the hologram lens is satisfactorily corrected, and thereby a display apparatus that offers a high-resolution and a clear image can be obtained.

[0102]

#### **[Advantages of the Present Invention]**

30 According to the present invention, by appropriately setting the sizes of the individual elemental holograms of a hologram lens array, it is possible to realize an off-axis type

hologram lens that permits observation of an image having a wide observation field of view and an even brightness distribution while spatially superimposing the image information emitted from an image display device and other image information, and to realize a display apparatus employing the hologram lens.

5 [0103]

In addition, according to the present invention, when the image information emitted from an image display device and other image information are observed in the same field of view through a hologram combiner while being spatially superimposed on each other, by providing a prism in an optical path between the image display device and the hologram combiner, it is possible to correct coma aberrations and astigmatism sufficiently, and therefore a display apparatus that permits a favorable observation of image information can be realized.

[Brief Description of the Drawings]

15 [Fig. 1] A schematic diagram illustrating the principal part of a hologram lens array of Example 1 of the present invention.

[Fig. 2] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 1 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 3] A diagram illustrating a hologram lens of Example 2 of the present invention.

20 [Fig. 4] A schematic diagram illustrating the principal part of a process for manufacturing a hologram lens embodying the present invention.

[Fig. 5] A diagram illustrating a recording beam of a hologram lens embodying the present invention.

[Fig. 6] A diagram illustrating a recording beam of a hologram lens embodying the present invention.

25 [Fig. 7] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 2 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 8] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 3 employing a hologram lens array embodying the present invention.

30 [Fig. 9] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 4 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 10] A schematic diagram illustrating the principal part of a display apparatus employing a conventional hologram lens.

[Reference Symbols]

- 5 1, 77 Aperture Surfaces (Pupil)
- 2, 75 Substrates
- 3, 76 Hologram Lenses
- 4 Light Beam
- 5 Image Plane (Image Information)
- 10 6, 73 Image Display Devices
- 7, 72 Lamp House
- 8, 71 Light Source
- 74 Prism
- 78 Relay Lens
- 15 80 Image information